

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-076125

(43)Date of publication of application : 11.03.2004

(51)Int.Cl.

C21D 9/32
C22C 38/00
C22C 38/54
C22C 38/58
// C21D 6/00

(21)Application number : 2002-240967

(71)Applicant : KOMATSU LTD

(22)Date of filing : 21.08.2002

(72)Inventor : TAKAYAMA TAKEMORI
HAMASAKA NAOHARU
MORIOKA NORIKO

(54) ROLLING MEMBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the pitching resistant strength of a gear by using steel which remarkably enhances the resistance to softening by low-temperature tempering at 300 to 350° C and by hardening tooth faces by means of carburization hardening, bright hardening and induction hardening methods.

SOLUTION: The steel products regulated to satisfy the relations of the equation $5 \leq 4.3 \times \text{Si}(\text{wt}\%) + 7.3 \times \text{Al}(\text{wt}\%) + 3.1 \times \text{V}(\text{wt}\%) + 1.5 \times \text{Mo}(\text{wt}\%) + 1.2 \times \text{Cr}(\text{wt}\%) \times (0.45 \div \text{C}(\text{wt}\%))$ are subjected to carburization treatment so as to be regulated in the carbon concentration on their carburized surface layers to 0.6 to 0.9wt% and are subjected to hardening and tempering treatment at $\leq 300^\circ \text{C}$ following to the carburization treatment or are once cooled after the carburization treatment and are then subjected to reheating hardening and tempering treatment at $\leq 300^\circ \text{C}$ so that the hardness of ≥ 58 in HRC can be assured even by the tempering treatment at 300°C .

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-76125

(P2004-76125A)

(43) 公開日 平成16年3月11日(2004.3.11)

(51) Int. Cl. ⁷	F 1	テーマコード (参考)
C 2 1 D 9/32	C 2 1 D 9/32 A	4 K O 4 2
C 2 2 C 38/00	C 2 2 C 38/00 3 O 1 N	
C 2 2 C 38/54	C 2 2 C 38/54	
C 2 2 C 38/58	C 2 2 C 38/58	
// C 2 1 D 6/00	C 2 1 D 6/00 D	
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2002-240967 (P2002-240967)
 (22) 出願日 平成14年8月21日 (2002. 8. 21)

(71) 出願人 000001236
 株式会社小松製作所
 東京都港区赤坂二丁目3番6号
 (74) 代理人 100097755
 弁理士 井上 勉
 (72) 発明者 高山 武盛
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内
 (72) 発明者 浜坂 直治
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内
 (72) 発明者 森岡 紀子
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転動部材

(57) 【要約】

【課題】 300～350℃での低温焼戻し軟化抵抗性を顕著に高める鋼を用いて、浸炭焼入れ、光輝焼入れおよび高周波焼入れ法で歯面を硬化して歯車の耐ピッチング強度を高める。

【解決手段】 式 $5 \leq 4.3 \times Si \text{ (重量\%)} + 7.3 \times Al \text{ (重量\%)} + 3.1 \times V \text{ (重量\%)} + 1.5 \times Mo \text{ (重量\%)} + 1.2 \times Cr \text{ (重量\%)} \times (0.45 \div C \text{ (重量\%)})$ の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が0.6～0.9重量%に調整されるとともに、浸炭処理に続いて焼入れと300℃以下の焼戻し処理を施すか、もしくは浸炭処理後に一旦冷却して、再加熱焼入れと300℃以下の焼戻し処理を施し、300℃の焼戻し処理によってもHRC58以上の硬さを

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも C : 0.15 ~ 0.35 重量% を含有するとともに、Si : 1.0 ~ 3.0 重量% もしくは Al : 0.35 ~ 1.5 重量% のいずれか一方もしくは (Si + Al) : 0.5 ~ 3.0 重量% を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Ca の一種以上の合金元素と P, S, N, O 等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的に Fe からなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が 0.6 ~ 0.9 重量% に調整されるとともに、浸炭処理に続いて焼入れと 300℃ 以下の焼戻し処理を施すか、もしくは浸炭処理後に一旦冷却して、再加熱焼入れと 300℃ 以下の焼戻し処理を施し、300℃ の焼戻し処理によっても HRC 58 以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする転動部材。 10

【請求項 2】

少なくとも C : 0.15 ~ 0.35 重量% を含有するとともに、Si : 1.0 ~ 3.0 重量% もしくは Al : 0.35 ~ 1.5 重量% のいずれか一方もしくは (Si + Al) : 0.5 ~ 3.0 重量% を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Ca の一種以上の合金元素と P, S, N, O 等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的に Fe からなるとともに、式 20

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が 0.9 ~ 1.5 重量% に調整され、その浸炭中に表面層にセメンタイトが析出しない状態から一旦 A1 温度以下に冷却した後に再加熱焼入れと 300℃ 以下の焼戻し処理を施し、その浸炭表面層の焼戻しマルテンサイト相中に 1 μm 以下の微細なセメンタイト粒子を分散させ、300℃ の焼戻し処理によっても HRC 62 以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする転動部材。

【請求項 3】

前記鋼材において、Cr 含有量を Si 含有量の 1.4 倍以下に抑えるとともに、Mo : 0.35 重量% 以下、V : 0.4 重量% 以下、(Mn + Ni) : 1.0 ~ 2.5 重量% のいずれか一種以上が添加され、かつそれらの含有量が式 30

$$-0.146 \times \text{Si (重量\%)} + 0.03 \times \text{Mn (重量\%)} - 0.024 \times \text{Ni (重量\%)} + 0.075 \times \text{Cr (重量\%)} + 0.043 \times \text{Mo (重量\%)} + 0.133 \times \text{V (重量\%)} \leq 0$$

の関係を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の転動部材。

【請求項 4】

前記鋼材において、Si または (Si + Al) : 1.5 ~ 2.5 重量%、Cr : 2.0 重量% 未満にして、浸炭時のセメンタイトの析出を防止したことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の転動部材。 40

【請求項 5】

少なくとも C : 0.35 ~ 0.60 重量% を含有するとともに、Si : 1.0 ~ 3.0 重量% もしくは Al : 0.35 ~ 1.5 重量% のいずれか一方もしくは (Si + Al) : 0.5 ~ 3.0 重量% を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Ca の一種以上の合金元素と P, S, N, O 等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的に Fe からなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を高周波焼入れ処理等の焼入れ処理後に 300℃ 以下の焼戻し処理を施し、その表面硬化層が 300℃ の焼戻し処理によっても HRC 50

55以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする転動部材。

【請求項6】

少なくともC：0.35～0.60重量%を含有するとともに、Si：0.8～3.0重量%もしくはAl：0.5～1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al)：0.8～3.0重量%を含有し、さらに、Mn、Ni、Cr、Mo、V、Cu、W、Ti、Nb、B、Zr、Ta、Hf、Caの一種以上の合金元素とP、S、N、O等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的にFeからなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が0.9～1.5重量%に調整されるとともに、浸炭処理後に一旦A1変態温度以下に冷却して、再加熱焼入れと300℃以下の焼戻し処理を施し、その浸炭表面層のマルテンサイト相中に1μm以下の微細なセメンタイト粒子を分散させ、300℃に焼戻し処理によってHRC62以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする転動部材。 10

【請求項7】

前記鋼材において、Cr含有量をSi含有量の1.4倍以下に抑えるとともに、Mo：0.35重量%以下、V：0.4重量%以下、(Mn+Ni)：1.0～2.5重量%のいずれか一種以上が添加され、かつそれらの含有量が、式

$$-0.146 \times \text{Si (重量\%)} + 0.03 \times \text{Mn (重量\%)} - 0.024 \times \text{Ni (重量\%)} + 0.075 \times \text{Cr (重量\%)} + 0.043 \times \text{Mo (重量\%)} + 0.133 \times \text{V (重量\%)} \leq 0$$

の関係を満足することを特徴とする請求項6に記載の転動部材。

【請求項8】

少なくともC：0.60～1.50重量%を含有するとともに、Si：1.0～3.0重量%もしくはAl：0.35～1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al)：0.5～3.0重量%を含有し、さらに、Mn、Ni、Cr、Mo、V、Cu、W、Ti、Nb、B、Zr、Ta、Hf、Caの一種以上の合金元素とP、S、N、O等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的にFeからなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を高周波焼入れ処理等の焼入れ処理後に300℃以下の焼戻し処理を施し、その表面硬化層が300℃の焼戻し処理によってHRC58以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする転動部材。 30

【請求項9】

前記鋼材において、Mn：0.3～1.5重量%、Cr：0.5重量%以下、Mo：0.35重量%以下、V：0.4重量%以下、B：0.0005～0.005重量%のいずれか一種以上を含有することを特徴とする請求項5～8のいずれかに記載の転動部材。

【請求項10】

前記Alを0.3重量%以上含有する鋼において、0.3～1.5重量%のNiが添加されることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の転動部材。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、浸炭焼入れ法、光輝焼入れ法および高周波焼入れ法によって製造される転動部材に関するもので、より詳しくは300～350℃での低温焼戻し軟化抵抗性を顕著に高める鋼を用いて、浸炭焼入れ法、光輝焼入れ法および高周波焼入れ法で歯面を硬化して歯車の耐ピッチング強度を高めた歯車や、ベアリング、レース、ローラ等の転動部材に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、建設・土木用機械の減速機などでは、高耐面圧性（ 200 kgf/mm^2 以上）が重要視される観点から、SCr、SCM、SNCM系低炭素鋼に浸炭焼入れや浸炭浸窒焼入れ処理を施した歯車が一般的に使用されている。また、比較的低温（ $\sim 150\text{ kgf/mm}^2$ ）の条件で使用されるリングギヤ類では、炭素鋼、SMn系の中炭素添加鋼（ $0.45\sim 0.6$ 重量％C）を用いて光輝焼入れや高周波焼入れ等の熱処理を施した歯車が使用されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、前記建設・土木用機械に使用されている歯車減速機においては、より高出力化とコンパクト化の観点から、より高面圧に耐えらるとともにより高強度で、より低コストな歯車が要望されている。

【0004】

また、前記建設・土木用機械は走行時において岩石や構造物等の障害物を乗り越えたり、旋回しながらそれら障害物を掘削することが多く、それら走行用、旋回用の歯車減速機の歯車に衝撃的な荷重が作用するために、浸炭焼入れ歯車においてはその破損が問題になる。

【0005】

さらに、光輝焼入れや高周波焼入れ硬化歯車の場合には、浸炭焼入れ歯車よりも高靱性であるが、前述のように高面圧下で使用した場合にはピッチングやスカuffingなどが発生し易いという問題がある。

【0006】

本発明は、従来の浸炭焼入れや高周波焼入れ歯車における耐面圧強度が十分でないとその耐衝撃性が悪いという点を解消するためになされたもので、滑りを伴う転動条件で使用する歯車では、その耐面圧強度が、稼動中に起こる歯面温度の 300°C までの上昇に対して十分な耐焼戻し軟化抵抗性を有するか否かに大きく支配されることに着目し、 300°C の低温焼戻しに対する焼戻し軟化抵抗性を効果的に高めるAlおよび/またはSiを多く添加した鋼材を用い、 300°C での焼戻し硬さがHRC58以上となる各種の耐高面圧用の浸炭焼入れ歯車等の転動部材を開発することを目的とし、さらに、その鋼材においてAlとNiをより適正に複合添加することによって、高硬度状態においても高靱性化させることのできる転動部材を提供することを目的とするものである。

【0007】

さらに本発明は、このような光輝焼入れや高周波焼入れ硬化歯車におけるピッチング強度が弱い点を解消するためになされたもので、Si、Al、VおよびMn、Cr、Mo、Niをより適正に添加し、 300°C での焼戻し硬さがHRC54以上となるように焼戻し軟化抵抗性を高め、浸炭焼入れ歯車と同等以上のピッチング強度を発現できる安価な高周波焼入れ硬化歯車等の転動部材を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段および作用・効果】

浸炭焼入れ処理を施したSNCM815、SCM420、SCr420、SMnB420鋼について、それらの滑りを伴う転動面圧強度（ピッチング強度）を面圧 $375\sim 220\text{ kgf/mm}^2$ の範囲で予備調査した結果、 10^7 回転でピッチングが発生し始める面圧は 210 kgf/mm^2 であり、各面圧でピッチングが発生した転動面最表面層のマルテンサイト相のX線半価幅は $4\sim 4.2^\circ$ に減少するとともに転動面最表面層において顕著な軟化が認められる。

【0009】

また、S55C炭素鋼を焼入れ焼戻し処理によってHRC61～62に調整した炭素鋼について、面圧 250 kgf/mm^2 での転動面圧強度を予備調査した結果、 10^7 回転でピッチングが発生し始める面圧がほぼ 180 kgf/mm^2 であり、面圧 250 kgf/mm^2 でピッチングが発生した転動面のマルテンサイト相のX線半価幅は前記浸炭焼入れ鋼のそれとほぼ同様に $3.6\sim 4.2^\circ$ に減少している。

【0010】

さらに、共析炭素鋼（0.77重量％C）についてもその転動面圧強度を予備調査した結果、 10^7 回転でピッチングが発生し始める面圧がほぼ $230 \sim 240 \text{ kgf/mm}^2$ であり、ほぼ同じ炭素量からなる前記浸炭肌焼鋼の転動面圧強度とほぼ同じであり、浸炭肌焼鋼の方が転動表面の粒界酸化層や不完全焼き入れ層が存在することによって転動面圧強度のバラツキによる低下が見られることがわかった。

【0011】

また更に、共析炭素鋼（0.82重量％C）の転動面を高周波焼入れしたものの転動面圧強度を予備調査した結果、 10^7 回転でピッチングが発生し始める面圧がほぼ $260 \sim 270 \text{ kgf/mm}^2$ であり、前記共析鋼（0.77重量％C）の転動面圧強度に比べ高強度化され、この原因が転動面マルテンサイト相中に微細なセメンタイト粒子が分散していることによることがわかった。 10

【0012】

さらに、前記微細なセメンタイト粒子を分散させるとする観点から、約1.0重量％炭素と1.5重量％のCrを含有するSUJ2を 840°C から焼入れた後にHRC62.5になるように焼戻したものの転動面圧強度を予備調査した結果、 10^7 回転でピッチングが発生し始める面圧がほぼ 270 kgf/mm^2 であり、前記共析鋼のそれとほぼ同じ強度を示し、面圧 250 kgf/mm^2 でピッチングを発生した転動面のマルテンサイト相のX線半価幅は前記浸炭肌焼鋼のそれとほぼ同様に $4.2 \sim 4.5^\circ$ に減少していることがわかった。 20

【0013】

さらに、炭素が0.46、0.55、0.66、0.77、0.85重量％含有される炭素鋼を 820°C から焼入れ、 $100 \sim 350^\circ\text{C}$ で各3時間焼戻したときの硬さとX線半価幅を調査し、さらに、すでに公開されているこれらに関するデータ（例えば「材料」、第26巻280号、P26）を参考にして検討した結果、マルテンサイト相のX線半価幅が $4 \sim 4.2^\circ$ になる硬さはほぼHRC51～53に焼戻される状態に相当し、例えば浸炭肌焼鋼の表面炭素濃度がほぼ0.7～0.9重量％に調整されていることを参考にすると、その焼戻し温度はほぼ 300°C に相当することがわかった。

【0014】

以上の予備試験結果から、歯車が高面圧下で噛み合う際に発生する熱によって歯面最表面部が焼戻され、軟化することによって、ピッチングが発生することを明らかにし、さらに、浸炭焼入れ歯車並みのピッチング強度を得るための指標としては 300°C での焼戻し硬さがHRC53以上となることが必要であることを明らかにした。 30

【0015】

また、SCM420鋼に浸炭焼入れ処理を施した浸炭硬化層の 300°C 焼戻し硬度と、単に焼入れ処理を施した共析炭素鋼の 300°C 焼戻し硬さとの比較において、焼戻し軟化抵抗性に対するCr、Moの改善がほとんど確認されないために、光輝焼入れや高周波焼入れ法によって浸炭焼入れ歯車以上のピッチング強度を付与するためには、ほぼ 300°C での低温焼戻しにおける焼戻し軟化抵抗性を高める新たな合金設計が必要となること、および、前記共析炭素鋼（0.82重量％C）、SUJ2の転動面圧強度の改善作用のように微細なセメンタイト粒子などをマルテンサイト相中に分散させることが効果的であることがわかった。 40

【0016】

なお、前述の浸炭焼入れによるピッチング強度と同等以上（面圧 $P_{\text{max}} = 230 \text{ kgf/mm}^2$ 以上）に耐える歯車設計としては、ヘルツ面圧の理論解析に基づいて、面圧値の0.3倍の片振り剪断応力（ $R=0$ ）の疲労強度に耐える硬さが設定されるが、その計算値はほぼHRC53.4であり、前述の予備試験においてピッチングが発生した転動面のマルテンサイト相X線半価幅から求まる硬さ（HRC=53）と極めてよく合致している。また、滑りを伴う転動によって発生する摩擦熱によって、転動面最表面部がほぼ 300°C に昇温する時点でピッチングが発生することから、 300°C 焼戻し硬さが少なくともP 50

$\max = 230 \text{ kgf/mm}^2$ に耐えるための HRC 54 以上であるようにその硬さを設定することによって浸炭焼入れ歯車と同等以上の高面圧歯車が開発されることがわかった。

【0017】

さらに、実施例 2 で後述するように、炭素を 0.1～1.0 重量% 含有する炭素鋼の 300℃ 焼戻しマルテンサイト相の硬さが、式

$$\text{HRC} = 36 \times \sqrt{C} (\text{重量}\%) + 20.9$$

で記述され、この硬さを基準にして各種合金元素の 300℃ 焼戻しマルテンサイト相の硬さに対する影響を調査した結果、300℃ 焼戻しマルテンサイト相の硬さが式

$$\text{HRC} = (36 \times \sqrt{C} (\text{重量}\%) + 20.9) + 4.3 \times \text{Si} (\text{重量}\%) + 7.3 \times \text{Al} (\text{重量}\%) + 3.1 \times \text{V} (\text{重量}\%) + 1.5 \times \text{Mo} (\text{重量}\%) + 1.2 \times \text{Cr} (\text{重量}\%) \times (0.45 \div C (\text{重量}\%))$$

で表わされることを明らかにした。なお、上式の各合金元素重量% に比例する係数 (例えば Si では $4.3 \Delta \text{HRC} / \text{重量}\%$) が各成分元素の焼戻し軟化抵抗性を表わすものである。

【0018】

本発明において、前記歯車材料・熱処理設計に基づいて、前記鋼中の各合金成分の含有量 (重量%) を次のように限定した。

【0019】

要するに、第 1 発明に係る転動部材は、

少なくとも C : 0.15～0.35 重量% を含有するとともに、Si : 1.0～3.0 重量% もしくは Al : 0.35～1.5 重量% のいずれか一方もしくは (Si + Al) : 0.5～3.0 重量% を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Ca の一種以上の合金元素と P, S, N, O 等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的に Fe からなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si} (\text{重量}\%) + 7.3 \times \text{Al} (\text{重量}\%) + 3.1 \times \text{V} (\text{重量}\%) + 1.5 \times \text{Mo} (\text{重量}\%) + 1.2 \times \text{Cr} (\text{重量}\%) \times (0.45 \div C (\text{重量}\%))$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が 0.6～0.9 重量% に調整されるとともに、浸炭処理に続いて焼入れと 300℃ 以下の焼戻し処理を施すか、もしくは浸炭処理後に一旦冷却して、再加熱焼入れと 300℃ 以下の焼戻し処理を施し、300℃ の焼戻し処理によっても HRC 58 以上、より好ましくは HRC 60 以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とするものである。

【0020】

なお、SCM 系の浸炭焼入れ材料における浸炭層の 300℃ 焼戻し硬さは、通常 HRC = 53～56 の範囲にあることから、本第 1 発明での 300℃ 焼戻し硬さを HRC 58 以上としたが、この理由は、ピッチング強度の改善が明らかに確認されることと歯車減速機のコンパクト化をワンランクサイズダウンとする場合のコンパクト化率が 25～30% であり、その場合の歯車面圧強度が従来面圧強度の 1.15 倍以上であることを考慮する場合 ($230 \rightarrow 265 \text{ kgf/mm}^2$) の 300℃ 焼戻し硬さが HRC 58 以上であることに基づくものである。

【0021】

また、約 1 重量% Al の添加は、例えば SCM 系鋼材の浸炭層中に認められる 15～25 体積% の残留オーステナイト相が 10 体積% 以下に減少して、表面の浸炭層硬度がより高くなる効果 ($\Delta \text{HRC} = 2$) が認められるので、ピッチング強度の改善に好ましいことは明らかである。

【0022】

さらに、歯面強度の向上や歯元曲げ強度の向上のために歯面、歯元、歯底部にショットピーニングやローラバニシング等の物理的加圧処理を施し、明らかな圧縮残留応力を発生させることがより高強度の歯車等の転動部材に好ましいことは明らかであり、これらの処理を施した部材も本発明範囲にあることは明らかである。

【0023】

なお、前記浸炭は通常の900℃以上の温度で実施されるが、前述のようにSi、Alを高濃度で含有する場合には、浸炭層より深い位置にある低炭素濃度の素材組成部ではその再加熱状態において($\alpha + \gamma$)二相状態となり、この状態から焼き入れられるので浸炭層内部強度が弱くなるが、面圧応力分布や曲げ応力分布を考慮して浸炭層深さを設定することによってその問題を回避することができる。また、浸炭深さを深くすることはコスト的に不利となるので、前述のように、オーステナイト安定化元素であるC、Mn、Niをフェライト安定化元素であるSi、Alに合わせることでよりA3変態温度を調整し、より一般的な浸炭温度の950℃以下となるようにすることが好ましい。

【0024】

10

なお、前記焼戻し軟化抵抗性を高めるために、Si:1.0~3.0重量%もしくはAl:0.35~1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al):0.5~3.0重量%を含有する鋼材においては、炭素添加量が0.20重量%の場合に3重量%のSiを添加することによって、A3変態温度がそれぞれ約170℃高くなり(図1参照)、同様に1.5重量%Alの添加によっても同程度に高くなるので、Si、Alの上限添加量を3.0重量%、1.5重量%とした。さらに、オーステナイト安定化元素(例えば、C、Mn、Ni、Cu等)を添加調整してA3変態温度を低下させることによって焼入れ温度を抑えるために、第3発明においては、Mnおよび/またはNiが(Mn+Ni):1.0~2.5重量%の範囲で添加されることを特徴にした。

【0025】

20

なお、炭素および窒素がオーステナイト安定化元素として極めて効果的であるので(図1参照)、前述の観点から鋼材に元から添加する炭素量の下限値は0.15重量%が望ましく、その上限値は焼入れ焼戻し後の浸炭層内部の素材組成部の硬さがHRC55を越えない0.35重量%とするのが望ましい。なお、より望ましくは下限炭素量が0.2重量%である。

【0026】

また、窒素はAlの焼戻し軟化抵抗性を減ずる場合が多く、とりわけ、浸炭や浸炭窒化処理ガス雰囲気からの窒素の侵入によって、Al窒化物が形成されないようにする必要があり、浸炭層におけるN含有量は少なくとも0.1重量%となるようにした。

【0027】

30

さらに、第2発明による転動部材は、少なくともC:0.15~0.35重量%を含有するとともに、Si:1.0~3.0重量%もしくはAl:0.35~1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al):0.5~3.0重量%を含有し、さらに、Mn、Ni、Cr、Mo、V、Cu、W、Ti、Nb、B、Zr、Ta、Hf、Caの一種以上の合金元素とP、S、N、O等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的にFeからなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を浸炭処理によってその浸炭表面層の炭素濃度が0.9~1.5重量%に調整され、その浸炭中に表面層にセメンタイトが析出しない状態から一旦A1温度以下に冷却した後に再加熱焼入れと300℃以下の焼戻し処理を施し、その浸炭表面層の焼戻しマルテンサイト相中に1 μ m以下の微細なセメンタイト粒子を分散させ、300℃の焼戻し処理によってもHRC60以上、より好ましくはHRC62以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とするものである。

40

【0028】

なお、浸炭層表面部位の下限炭素量を0.9重量%とした理由は、Si、Crの添加によって共析炭素濃度が顕著に減少し、その炭素量が0.9重量%以上で3体積%以上の未固溶セメンタイトが安定して形成されることによる。また、炭素量を1.5重量%以下とした限定理由は、これ以上の炭素含有量ではセメンタイト粒子の凝集による粗大粒子(3 μ m以上)の発生が避けられず、歯車の曲げ強度が劣化する危険性が高いためであり、また

50

、その浸炭中に表面層に粗大なセメンタイトを析出させずに1.5重量%以上の高濃度浸炭を実施するには、浸炭温度を1100℃近くまで高める必要があるという設備的な制限によるものである。

【0029】

また、前記表面炭素濃度を0.9～1.5重量%にする高濃度な浸炭は炭素活量(ac)が1近くの高い炭素ポテンシャル状態でかつ好ましくは高温側(1000℃以上)で実施されるために、浸炭中に表面層に粗大なセメンタイトを析出する危険性が高く、高精度に炭素ポテンシャルを制御する必要があるが、1000℃を越える高い炭素ポテンシャルでの浸炭制御が極めて困難であることから、第3発明においては、鋼材成分中のCrが粗大セメンタイトの析出を促進することに着目し、Cr添加量を0.5重量%以下に低減するか、もしくはCr添加量をSi添加量の1.4倍以下に抑えることによって、高い炭素ポテンシャル状態での浸炭処理中においてもセメンタイトが析出しないようにした。

【0030】

より詳細に見るときには、Mn, Ni, Mo等の影響も考慮する必要があり、式

$$-0.146 \times Si(\text{重量}\%) + 0.03 \times Mn(\text{重量}\%) - 0.024 \times Ni(\text{重量}\%) + 0.075 \times Cr(\text{重量}\%) + 0.043 \times Mo(\text{重量}\%) + 0.133 \times V(\text{重量}\%) \leq 0$$

の関係を考慮することが好ましいが、実質的には、Siまたは(Si+Al):1.5～2.5重量%として、Cr:2.0重量%以下に抑えて使用することが好ましい(第4発明)。

【0031】

また、前述のように本発明鋼においては再加熱焼入れ処理を前提として、セメンタイト粒子の微細化を図るものであるので、その再加熱焼入れ温度はA1変態温度以上とするが、前述のようにSi, Alを高濃度で含有する場合には、浸炭層より深い位置にある低炭素濃度の素材組成部ではその再加熱状態において($\alpha + \gamma$)二相状態となり、この状態から焼き入れられるので浸炭層内部強度が弱くなるが、面圧応力分布や曲げ応力分布を考慮して浸炭層深さを設定することによってその問題を回避することができることは明らかである。浸炭深さを深くすることはコスト的に不利となるので、前述のように、その炭素量、Mn, NiをSi, Al量に合わせてA3変態温度を調整し、再加熱焼入れ温度が950℃以下となるようにすることが好ましい。

【0032】

またさらに、再加熱焼入れ温度を850～950℃に高く設定する場合には、通常のSCM系材料(0.75重量%Mn, 1重量%Cr, 0.15重量%Mo)においては分散するセメンタイト粒子を1μm以下に微細化することが困難となるので、オーステナイトとセメンタイト間の平衡状態においてセメンタイト中に顕著に濃縮するVを少なくとも0.4重量%以下含有させるものとした。なお、分配係数KM=セメンタイト中のM元素濃度(重量%)÷オーステナイト中のM元素濃度(重量%)で定義される各合金元素の分配係数は、

$KV = 12.3, KCr = 6.4, KMo = 3.5, KNi = 0.22, KSi, Al \approx 0$

で与えられる。

【0033】

さらに、第5発明による転動部材は、少なくともC:0.35～0.60重量%を含有するとともに、Si:1.0～3.0重量%もしくはAl:0.35～1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al):0.5～3.0重量%を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Caの一種以上の合金元素とP, S, N, O等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的にFeからなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times Si(\text{重量}\%) + 7.3 \times Al(\text{重量}\%) + 3.1 \times V(\text{重量}\%) + 1.5 \times Mo(\text{重量}\%) + 1.2 \times Cr(\text{重量}\%) \times (0.45 \div C(\text{重量}\%))$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を高周波焼入れ処理等の焼入れ処理後に300℃以下の焼戻し処理を施し、その表面硬化層が300℃の焼戻し処理によってもHRC55以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とするものである。

【0034】

鋼を焼入れ処理後に300℃で焼戻したときの硬さがHRC55以上であることが本発明の不可避的条件であるが、この条件を満足させるには焼入れ状態においては約HRC58以上の硬さに焼入れ硬化されることが好ましく、そのための下限炭素含有量として、ほぼ0.35重量%が設定される。しかし、300℃焼戻し硬さがHRC53となる焼戻し軟化抵抗性をSiもしくはAlの単独添加で確保する場合には前式の関係から2.5重量%Siもしくは1.47重量%Al以上の添加が必要となり、その焼入れ温度が900℃以上と高くなりすぎるので(図1参照)、本発明では極めて強力なオーステナイト安定化元素である炭素量を適正化して焼入れ温度を高くしないことが好ましく、またさらに、焼入れ後の安定した硬さを確保する観点から炭素添加量を0.43重量%以上とすることがより好ましいことは明らかである。

【0035】

また、炭素添加量の上限として、高周波焼入れ時の焼入れ割れ感受性を考慮した場合には、0.6重量%以下とすることが好ましく、炭素含有量を0.4~0.6重量%の範囲にした場合におけるSiもしくはAlの単独添加による適正添加量が1.0重量%Si、0.6重量%Al以上になることは単純に計算される。

【0036】

またさらに、浸炭焼入れ歯車の平均的歯面強度とほぼ同じ面圧強度を実現させるためには300℃焼戻し硬さがHRC55以上であることがより好ましく、かつ前記高周波焼入れ時の水もしくは水溶性焼入れ液による焼入れ割れ感受性をより考慮した場合にはC:0.55重量%を上限炭素量とすることがより好ましいことは明らかである。

【0037】

また、第5発明の歯車材に前記第2発明の高濃度浸炭を施し、表面層に1μm以下の微細なセメンタイト粒子を分散させた歯車部材とすることがより高面圧に耐える歯車部材として有効であることは明らかである(第6発明、第7発明)が、再加熱焼入れや高周波焼入れ時の焼割れを防止するために、高濃度なポリマー成分を含んだ水溶性焼入れ液や焼入れ油を利用することが好ましい。

【0038】

またさらに、前記浸炭焼入れ歯車よりも優れた面圧強度を達成するために、第8発明として、少なくともC:0.60~1.50重量%を含有するとともに、Si:1.0~3.0重量%もしくはAl:0.35~1.5重量%のいずれか一方もしくは(Si+Al):0.5~3.0重量%を含有し、さらに、Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Nb, B, Zr, Ta, Hf, Caの一種以上の合金元素とP, S, N, O等の不可避的不純物元素を含有し、残部が実質的にFeからなるとともに、式

$$5 \leq 4.3 \times \text{Si (重量\%)} + 7.3 \times \text{Al (重量\%)} + 3.1 \times \text{V (重量\%)} + 1.5 \times \text{Mo (重量\%)} + 1.2 \times \text{Cr (重量\%)} \times (0.45 \div \text{C (重量\%)})$$

の関係を満足するように調整されてなる鋼材を高周波焼入れ処理等の焼入れ処理後に300℃以下の焼戻し処理を施し、その表面硬化層が300℃の焼戻し処理によってHRC58以上の硬さが確保されるようにしたことを特徴とする歯車等の転動部材を開発した。

【0039】

なお、高周波焼入れ時の加熱温度はセメンタイトをすべてオーステナイト中に固溶させる必要性が無いことから、Al変態温度950℃以下のオーステナイト+セメンタイトの二相共存領域に設定され、かつその状態でのオーステナイト中に固溶する炭素濃度を低く設定できることや、焼入れ冷媒を焼入れ油や水溶性ポリマー焼入れ液を利用することによって、その焼割れ感受性を低減することが好ましい。

【0040】

また、高周波加熱・焼入れによって微細なセメンタイト粒子を分散させる場合においては

、数分以内の短時間の急速加熱で実施されるために、未固溶セメンタイトが粗大化しにくい特徴を有することから前記のVの添加を必ずしも必要としないが、高周波焼入れ前組織をより微細化しておく観点からVの添加は有効であり（第9発明）、Vと同様にCr、V、Mo、Mnの添加は有効である。

【0041】

また、Vはより高面圧化で利用される歯車等の転動部材においては、その転動面がより高温に晒されたりすることが容易に想定され、この場合にはVが顕著な焼戻し軟化抵抗性 ΔHRC （350℃：4.6、400℃：6.1、450℃：9.2）を示すので、V添加量はその効果が顕著に現れ始める0.05重量%以上とし、またその焼入れ温度の最大を950℃とした場合の有効にV効果が利用できる0.4重量%を上限とした。

10

【0042】

また、Moもより高温側で顕著に焼戻し軟化抵抗性（350℃：2.4、400℃：3.23、450℃：4.9）を示すので、積極的に添加することは好ましいが、コスト的な観点から0.35重量%を上限添加量とした。

【0043】

さらに、高濃度のSi、Al添加によって、鋼材の製造過程や本発明の熱処理過程において黒鉛が析出する場合には、強度の顕著な劣化が危惧されるので、第9発明においては、少なくともセメンタイトを顕著に安定化し、黒鉛化を阻害するCr：0.2～0.5重量%を含有することが好ましいことは明らかである。

【0044】

20

また、高周波焼入れ法が炉加熱と違って焼入れ硬化させる部位近傍に限った加熱方法をとるために、高周波焼入れ用鋼材では高い焼入れ性を必要としないことから、Mn：0.3～1.5重量%、Mo：～0.35重量%、B：0.0005～0.005重量%のいずれか一種以上を含有する歯車等の転動部材とした。

【0045】

またさらに第10発明では、前記添加量のAlとNi：0.3～2.5重量%を共存させることにより、顕著な強靱性作用が発現することを本出願人は既に特願2002-135274号で報告しており、とりわけ、0.6重量%および1.2重量%炭素を含有する高硬度マルテンサイト組織においても優れたシャルピー衝撃特性を示すことは、歯車の耐衝撃荷重を画期的に改善できることは歯車材料として有効であることは明らかである。本発明ではNi添加が鋼材をより高価なものとするために、その添加量を1.5重量%以下とした。

30

【0046】

なお、本発明において、浸炭温度や再加熱温度および高周波焼入れ温度が高温になりすぎた場合には、オーステナイト結晶粒が粗大化しやすい問題があるが、その場合にはTi、Nb、Zr、Ta、Hf等の既知なる結晶粒度微細化元素と呼ばれる元素類を0.005～0.2重量%範囲内で添加することが好ましいことは明らかである。

【0047】

なお、前記各発明につながる各合金元素の働きについてまとめて次に記述する。

【0048】

40

Si：0.8～3.0重量%

Siは300～350℃以下の低温焼戻し温度域での焼戻し軟化抵抗性を顕著に高める元素であり、その焼戻し軟化抵抗性を高める機構としては低温で析出するε炭化物をより安定化させ、セメンタイトの析出をより高温側へ引き上げることによって軟化を防止する。

【0049】

（1）高周波焼入れ用歯車；

Siの下限添加量は、1重量%当りのSiの300℃焼戻しでの軟化抵抗 ΔHRC が4.3であることと、0.6重量%炭素から求まる300℃焼戻しのベース硬さがHRC48.8であることから、300℃焼戻し硬さHRC53を確保するためのSi添加量は約1

50

、0重量%であり、さらに、0.15重量%のAlが共存する場合のSi添加量は約0.8重量%であることから、0.8重量%SiをSi添加下限量と設定するが、より好ましくはその下限量は1.5重量%として、より機能を高めることが好ましいのは明らかである。

【0050】

また、Siの上限添加量は、前述の炭素量0.35～0.6重量%の範囲でAc3変態温度が900℃を越えないようにし、むやみに焼入れ温度を高くしないようにするために3.0重量%としたが、高周波焼入れ歯車用鋼材としての炭素下限添加量を0.4重量%とした場合はSi上限添加量が2.5重量%以下であることがより好ましい。

【0051】

(2) 浸炭焼入れ用歯車；

また、歯車等転動部材の表面に浸炭を施し、その表面炭素添加量を0.6～0.9重量%に高めて、さらに焼入れと300℃以下の焼戻し処理を施して、300℃焼戻し硬さHRC60を確保するためのSi添加量の上、下限量についてもほぼ、上述のSi添加範囲が好ましいことが分かる。

【0052】

さらに、歯車等転動部材の表面に浸炭を施し、その表面炭素添加量を0.9～1.5重量%に高めて、さらに再加熱焼入れ処理によって転動面に微細なセメンタイト粒子を分散させ、300℃以下の温度で焼戻し処理を施して、少なくとも300℃焼戻しでの硬さHRC62以上を確保するためのSiの上、下限添加量としては、ほぼ上述のSi添加範囲が好ましい。

【0053】

なお、前記浸炭時に表面層にセメンタイトを析出させずに、表面炭素量を0.9～1.5重量%に高めるために、930～1100℃の高温での浸炭中の炭素活量を高める必要がある、この場合には、主にCr元素を含有することによる粗大な(3～15μm)セメンタイトの析出(過剰浸炭)が起こり易く、歯車強度を顕著に劣化することが危惧されるので、本発明では、その過剰浸炭を防止するSiを積極的に添加することとして、かつ、Si添加量の1.4倍以上にCrを添加しなようにし、さらに詳細には、式

$$-0.146 \times Si (\text{重量}\%) + 0.03 \times Mn (\text{重量}\%) - 0.024 \times Ni (\text{重量}\%) + 0.075 \times Cr (\text{重量}\%) + 0.043 \times Mo (\text{重量}\%) + 0.133 \times V (\text{重量}\%) \leq 0$$

の関係を満足させる鋼材を用いることとした。

【0054】

なお、この鋼材を用いた場合においては、炭素活量が1の状態での浸炭処理する真空浸炭法を利用することができ、1100℃以下での高温浸炭が安価に採用できることは歯車等転動部材の製造方法として極めて有利であり、粗大なセメンタイトの析出を防止することは歯車等転動部材の強度を高めるのに好ましいことは明らかである。

【0055】

Alは強力な脱酸作用を示すことおよび鋼中に含有される不純物元素であるP、Sを結晶粒界から排斥する作用が強力であることから鋼材の清浄度化に有効であること、さらに、本発明では、AlがSiよりも低温焼戻し軟化抵抗性を高める元素であることを確認し(△HRC=7.3)、Alを単独に添加する場合の添加量は0.35～1.5重量%とし、Siの一部を0.15～1.5重量%のAlで置き換えて利用する場合には(Si+Al):0.5～3.0重量%とすることを特徴としたが、前述のようにAlはSiよりもさらに強力なフェライト安定化元素であり、Ac3温度をSiに比べて約1.6倍より高める作用を有するので、その最大の添加量を1.5重量%(=2.5重量%/1.6)以下とした。

【0056】

またさらに、前記添加量のAlとNi:0.3～2.5重量%を共存させることにより、顕著な強靱性作用が発現することをすでに特願2002-135274号で報告しており

10

20

30

40

50

、とりわけ、0.6重量%および1.2重量%炭素を含有する高硬度マルテンサイト組織が優れたシャルピー衝撃特性を示すことは、歯車の耐衝撃荷重を画期的に改善できることは歯車材料として有効であることは明らかである。本発明ではNi添加が鋼材をより高価なものとするために、1.5重量%以下とした。

【0057】

Mnは顕著な脱硫作用を示すだけでなく、前述のようにオーステナイトを安定化させる元素であるが、さらに、鋼の焼入れ性を向上させる有効な元素であるために、Mnは目的に応じて適量添加されるが、前記炭素量が0.35~0.6重量%を含有する鋼では、オーステナイトが炭素によって十分に安定化されることを考慮するとそのMn下限量は0.3重量%である。

10

【0058】

Moは鋼の焼入れ性を向上させる有効な元素であるとともに、焼戻し脆性を抑える元素であることから、本発明では通常肌焼きSCM鋼と同レベルの0.35重量%以下の範囲で添加されることが好ましいものとした。

【0059】

なお、高周波焼入れ法を利用して歯車歯面部を焼入れ硬化する場合には、高周波加熱によってAc3変態温度以上に加熱された表面層部のみが焼入れ硬化されれば良いので、歯車材としての焼入れ性(DI値)は、通常の炭素鋼レベルの焼入れ性3.0inch以上を越える必要性はあまり無く、安価な鋼材が利用できる特徴があるので、本発明ではMn, Cr添加量をより低く調整し、Si, Al, Ni, Mo, V等の合金元素を調整してDI 20

【0060】

【実施例】

次に、本発明による転動部材の具体的実施例について、図面を参照しつつ説明する。

【0061】

(実施例1) 焼入れ焼戻し炭素鋼および浸炭焼入れ肌焼き鋼のピッチング強度(予備試験)

本実施例では、歯車の歯面における転動疲労強度を調べるために、図2に示される試験片を用いたローラピッチング試験を実施し、各種の焼入れ焼戻し炭素鋼および浸炭焼入れ肌焼き鋼のピッチング強度を調査した。表1は本実施例に用いた各種炭素鋼、肌焼き鋼の化学成分を示したものであり、各種鋼材は図2(a)に示される小ローラ試験片形状に加工した後、No.1, 2, 4は820℃で30分加熱後に水焼入れし160℃で3時間焼戻して、試験に供した。また、No.3は素材調質処理後に転動面を40kHz高周波電源を用いて焼入れ硬化し、上述と同様の焼戻し処理を施した。さらに、No.5は930℃で5時間の浸炭処理(炭素ポテンシャル0.8)した後850℃に冷却し、850℃で30分保持した後に60℃の焼入れ油に焼入れた後、上述と同様の焼戻し処理を施した。

30

【0062】

【表1】

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	備考
No.1	0.55	0.23	0.71				S55C
No.2	0.77	0.21	0.74				共析炭素鋼(1)
No.3	0.85	0.22	0.81				共析炭素鋼(2)
No.4	0.98	0.27	0.48		1.47		SUJ2
No.5	0.19	0.22	0.75		0.97	0.15	SCM420H

40

【0063】

図2(b)に示される大ローラ試験片としては、No.4のSUJ2材を820℃で30分加熱後に水焼入れし160℃で3時間焼戻したものを使用した。また、ローラピッチング試験は70℃の#30エンジンオイルで潤滑しながら、小ローラを1050rpm、大ローラ(負荷ローラ)を292rpmとして40%の滑り率を与え、面圧を375~22 50

0 k g f / m m ² の種々の条件で負荷を与えて実施した。

【0064】

図3には、各種面圧でピッチングが発生した繰返し回数をまとめて示されている。図中、基準とする浸炭肌焼き鋼における各面圧における最小繰返し数をつないだ寿命線が実線で示されている。ピッチング発生繰返し数が10⁷回となる時の面圧を転動面疲労強度と定義した場合、そのピッチング強度は約210 k g f / m m ² となることがわかった。また、同様の整理の仕方では検討すると、No. 1: 175 k g f / m m ²、No. 2: 240 k g f / m m ²、No. 3: 260 k g f / m m ²、No. 4: 260 k g f / m m ² となることがわかった。さらに、浸炭肌焼き鋼はバラツキが多少大きく、この原因は転動面での浸炭時の粒界酸化や不完全焼き入れ層の存在や残留オーステナイト量が多いこと等によるもので、平均的なピッチング発生回数で比較した場合には、No. 2のピッチング強度と変わらないことが分かる。

【0065】

また、面圧250 k g f / m m ² でピッチングが発生した転動面のマルテンサイト相のX線半価幅を調査した結果、No. 1: 3.6~4.0°、No. 2: 4~4.2°、No. 3: 4.2~4.4°、No. 4: 4.3~4.6°、No. 5: 4~4.2°であった。

【0066】

さらに、前記熱処理を施したNo. 1~5の試験片を250~350℃で各3時間焼戻した時のX線半価幅を調査した結果、前記ピッチング発生転動面の半価幅はほぼ300℃で焼戻した半価幅と合致し、また「材料」、第26巻、280号、P26で報告されている各種炭素濃度の炭素鋼の焼戻し硬さと半価幅の関係ともほぼ合致することがわかる。

【0067】

(実施例2) 焼戻し軟化抵抗性の確認

表2は本実施例で使用した合金組成を示したものであり、熱処理は810~870℃で30分加熱後に水冷し、300、350℃で3時間焼戻した試験片のロックウェル硬さHRCを調査し、さらに、これらの硬さに対する各合金元素添加量の影響を解析した。

【0068】

【表2】

TPNo.	C	Si	Al	Mn	Ni	Cr	Mo	V	B
No.6	0.45	1.45		0.46		1.49	0.52	0.14	0.0018
No.7	0.49	1.45		0.46		1.01	1.03	0.15	0.0019
No.8	0.47	0.31		0.46		2.01	1.03	0.15	0.0019
No.9	0.49	0.29		0.45		1.5	1.49	0.23	0.0019
No.10	0.36	1.77		0.6		0.62	0.11		0.0026
No.11	0.45	0.95		0.66	0.01	1.29	0.5		0.0029
No.12	0.39	0.93		1.02	0.08	0.97	0.95	0.5	
No.13	0.43	0.26		0.44		1.01	0.48		0.001
No.14	0.47	0.25		0.4		1.01	1.05		0.0018
No.15	0.46	1.5		0.4		1	0.51		0.002
No.16	0.45	0.24		0.4		1.02	0.48	0.31	0.0011
No.17	0.45	1.46		0.39		0.96	0.98		0.001
No.18	0.41	0.25		0.35		1	0.49		0.0017
No.19	0.52	2.3		0.57		0.11			
No.20	0.98	0.27		0.48		1.47			
No.21	0.55	0.23		0.71					
No.22	0.77	0.21		0.74					
No.23	0.45	0.21	1.26	0.53		1.51	0.21		
No.24	0.6	0.25	0.97	0.93	0.98	1.04	0.35		

【0069】

なお、予備実験として、0.1～1.0重量%の炭素と0.3～0.9重量%のMnを含む炭素鋼についても調査し、前記合金元素の影響の解析のベースデータとしたが、その結果、

250℃では $HRC = 34 \times \sqrt{C} \text{ (重量\%)} + 26.5$

300℃では $HRC = 36 \times \sqrt{C} \text{ (重量\%)} + 20.9$

350℃では $HRC = 38 \times \sqrt{C} \text{ (重量\%)} + 15.3$

で近似されることがわかった。

【0070】

また、これらの炭素鋼硬さをベースに合金元素の影響を解析した結果、焼戻し軟化抵抗 ΔHRC は、例えば300℃で、次式で記述されることがわかった。

$\Delta HRC = 4.3 \times Si \text{ (重量\%)} + 7.3 \times Al \text{ (重量\%)} + 1.2 \times Cr \text{ (重量\%)} \times (0.45 \div C \text{ (重量\%)}) + 1.5 \times Mo \text{ (重量\%)} + 3.1 \times V \text{ (重量\%)}$

この結果から、AlはSiの1.7倍の焼戻し軟化抵抗性を発現することがわかり、転動面圧強度の改善元素として極めて効果的であることがわかった。

【0071】

図4には、前記解析結果から求まる焼戻し硬さと実測した焼戻し硬さの合致性が示されている。この図から、バラツキ幅がHRC ± 1 の範囲で精度良く予測できることがわかる。また、実施例1のSCM420 (No. 5)の浸炭層(0.8重量%炭素)の300℃焼戻し硬さについても図4において☆印で示されており、計算値と良く合致していることがわかる。

【0072】

(実施例3) 焼戻し軟化抵抗性に優れた鋼材によるピッチング強度の改善1

表3は本実施例で使用する鋼材の合金成分を示したものである。No. P1～No. P10については、850～920℃から焼き入れた後に160℃で3時間の焼戻し処理を施し、No. P11、No. P12は実施例1と同じ高周波加熱条件で高周波焼入れしたものをローラピッチング試験に供した。

【0073】

【表3】

	C	Si	Al	Mn	Ni	Cr	Mo	V	B	300℃ 計算HRC
No.P1	0.34	0.21	1.47	1.17		0.17	0.11			53.96
No.P2	0.39	1.49	0.49	0.51		0.34	0.05			53.91
No.P3	0.41	1.51		0.72		0.32	0.15			51.09
No.P4	0.41	1.5		0.71		0.32	0.16	0.3		51.99
No.P5	0.45	0.18	1.26	0.53		0.5	0.21			55.94
No.P6	0.55	1.51		0.71		0.15	0.16			54.48
No.P7	0.61	1.21		0.75		0.14				54.34
No.P8	0.62	0.21	1.24	0.53		0.12				59.31
No.P9	0.45	1.02	1.26	0.49		0.12				58.78
No.P10	0.61	0.25	1.47	0.93	0.98	1.04	0.35			62.27
No.P11	0.83	1.01	0.31	0.55		0.96		0.38		62.11
No.P12	1.21	0.2	0.52	0.52	1.01	0.51		0.4		66.62

【0074】

なお、ピッチング強度の試験は実施例1とほぼ同じ条件で実施し、その結果を図5に示した。また同図中の実線で実施例1で求めたピッチング発生線を図4の実線で示し、さらに、本実施例で求めたピッチング発生線を破線で示した。

【0075】

これらの結果から、Al、Siの単独、もしくは複合添加により、そしてさらに、No. 50

P 3, P 4, P 1 1, P 1 2の比較からV添加によって転動面の耐ピッチング強度が画期的に改善されることがわかった。

【0076】

また、転動面のマルテンサイト相中に微細なセメンタイト粒子が分散するように高周波焼入れしたNo. P 1 1, P 1 2においては極めて顕著な耐ピッチング強度の改善が確認された。

【0077】

また、表3中には計算による300℃焼戻し硬さが示されており、その硬さから計算される10⁷回繰返しでピッチングが発生する面圧との対応関係が良いことがわかる。

【0078】

(実施例4) 焼戻し軟化抵抗性に優れた鋼材によるピッチング強度の改善2

本実施例は浸炭焼入れ処理によって面圧強度を高めることを目的とするものであって、表4には供試鋼材の合金成分が示されている。浸炭焼入れ処理は、図6に示されているように、N₂ガスフリーのメタンガスによる真空浸炭により950℃（浸炭層炭素濃度0.8重量%狙い）と1020℃（浸炭層炭素濃度1.3重量%狙い）の二通りの処理を実施し、1.3重量%Cの高濃度浸炭試験片については900℃で30分の再加熱後焼入れ焼戻し処理を施した。

【0079】

【表4】

C	C	Si	Al	Mn	Ni	Cr	Mo	V	B	300℃ 計算HRC	350℃ 計算HRC	残留γ%	残留γ2
No.5	0.19	0.22		0.75		0.97	0.15			40.52	37.26	5.06	1.22
No.G1	0.22	0.83		0.72		0.96	0.16			43.95	40.82	5.28	1.35
No.G2	0.21	1.48		1.18		0.45	0.21	0.41		46.50	43.71	5.84	1.67
No.G3	0.26	0.81	0.37	1.21	0.49	0.52	0.19			46.81	43.18	7.33	1.66
No.G4	0.26	0.21	1.01	1.09		1.51	0.15	0.37		52.04	49.65	7.78	1.54
No.G5	0.34	0.21	1.47	1.17		0.17	0.11			53.96	49.79	6.83	1.14
No.G6	0.22	0.24	0.99	1.29	1.01	1.02	0.36			49.09	45.98	9.24	1.40

【0080】

ローラピッチング試験は実施例1と同じ条件で実施した。その結果が図7, 8に示されている。図7は表面浸炭層を0.8重量%C狙いで浸炭焼入れ焼戻し処理を施した試験片の結果を示したものであり、基準とするNo. 5の結果と較べると、Alを添加するNo. G3～No. G6に明確な改善が認められる。また、No. G2とNo. G3の結果からSiを単独に添加する場合にはほぼ1.0重量%以上において明確にその改善が確認できる。

【0081】

また、図8はNo. 5, No. G2, No. G4の表面浸炭層の炭素量を1.3重量%に狙い、再加熱焼入れ焼戻し処理によって転動面が焼戻しマルテンサイト相中にセメンタイト粒子が分散する組織を有するようにしたもののピッチング試験結果を示したものであるが、基準となるNo. 5に較べて顕著な面圧強度の改善が認められる。

【0082】

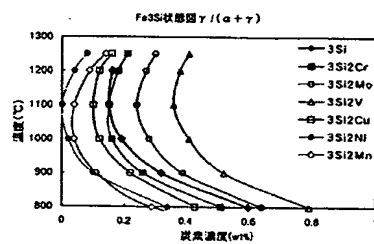
図8はNo. 5とNo. G2の表面浸炭層の組織写真を示したものであり、No. G2のマルテンサイト相中に分散するセメンタイト粒子がVの添加によって微細化され、それによってマルテンサイト葉も微細化されていることが明らかであり、このことが顕著な面圧強度の向上に作用することは明らかである。

【図面の簡単な説明】

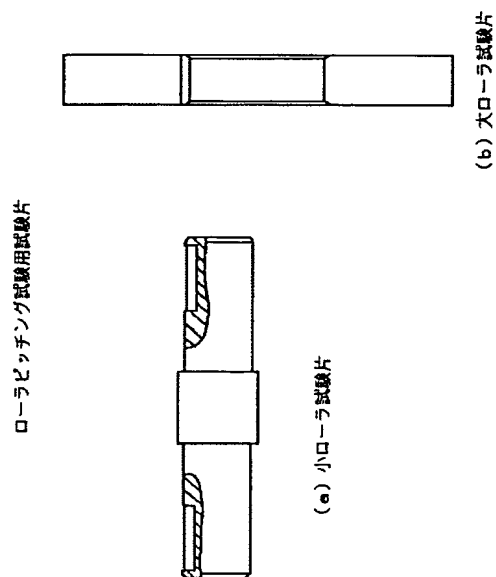
【図1】図1は、Fe3Siの各種合金元素の影響を示す状態図である。

- 【図2】 図2 (a) (b) は、ローラピッチング試験用試験片を示す図である。
 【図3】 図3 は、ローラピッチング強度の予備試験結果を示すグラフである。
 【図4】 図4 は、焼戻し硬さの実測値と計算値の比較を示すグラフである。
 【図5】 図5 は、本発明鋼のピッチング強度を示すグラフ (1) である。
 【図6】 図6 は、真空浸炭焼入れ処理のパターンを示す図である。
 【図7】 図7 は、本発明鋼のピッチング強度を示すグラフ (2) である。
 【図8】 図8 は、本発明鋼のピッチング強度を示すグラフ (3) である。
 【図9】 図9 (a) (b) は、No. 5、No. G2 の浸炭層の金属組織を示す写真である。

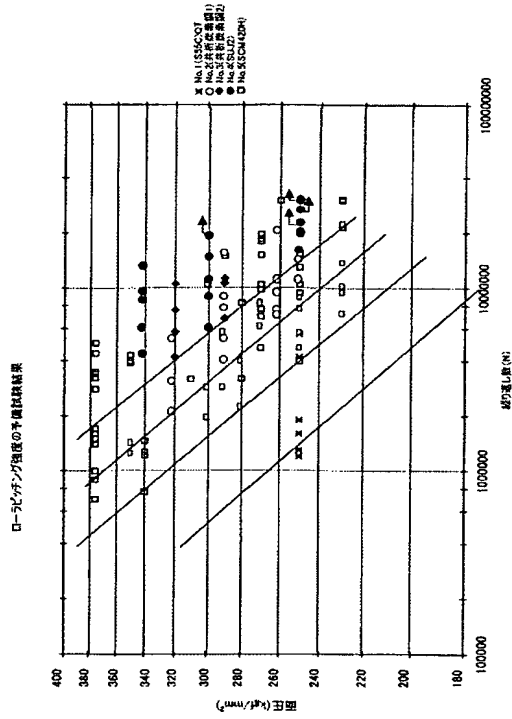
【図1】



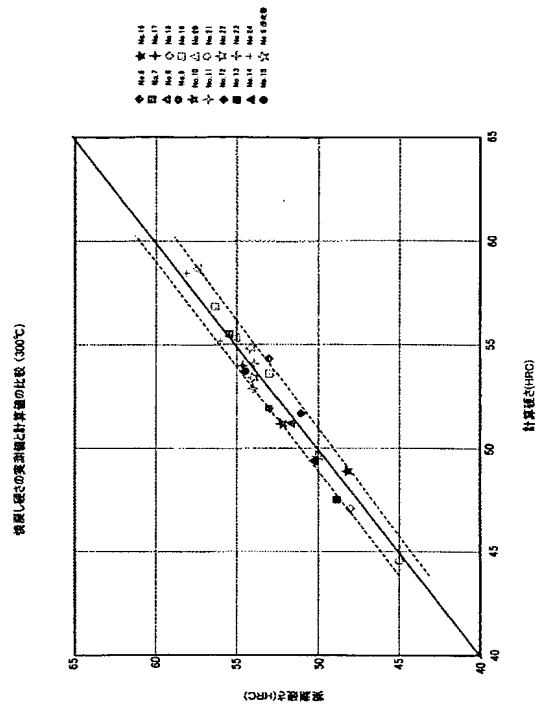
【図2】



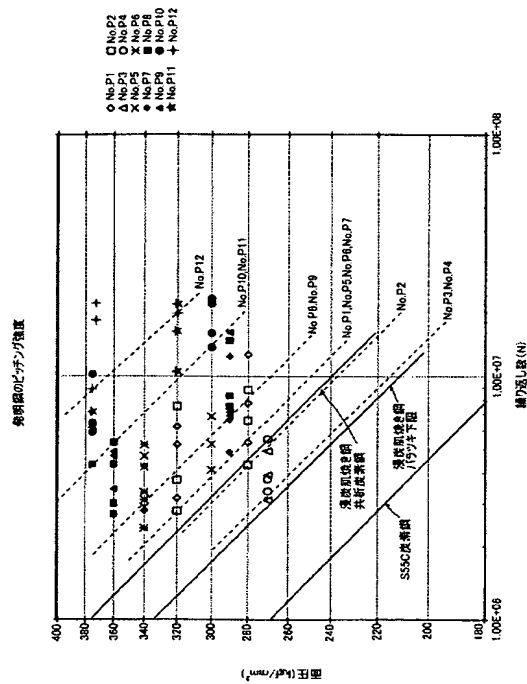
【図 3】



【図 4】

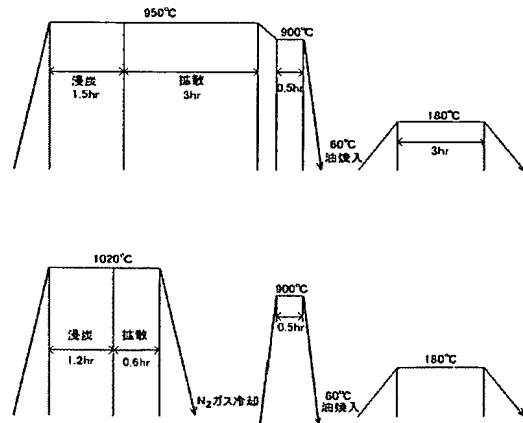


【図 5】

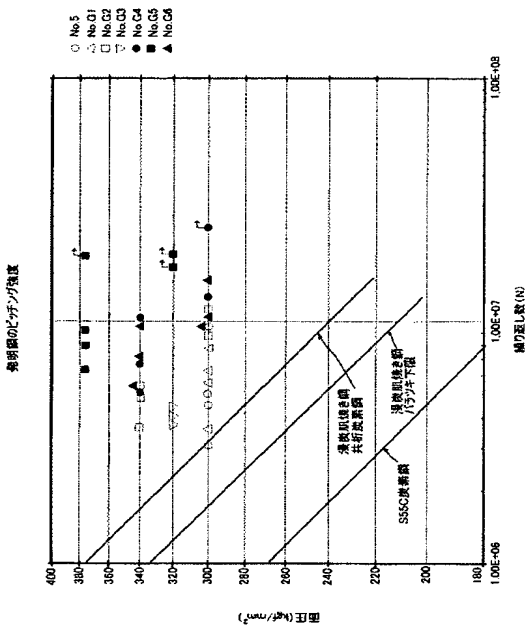


【図 6】

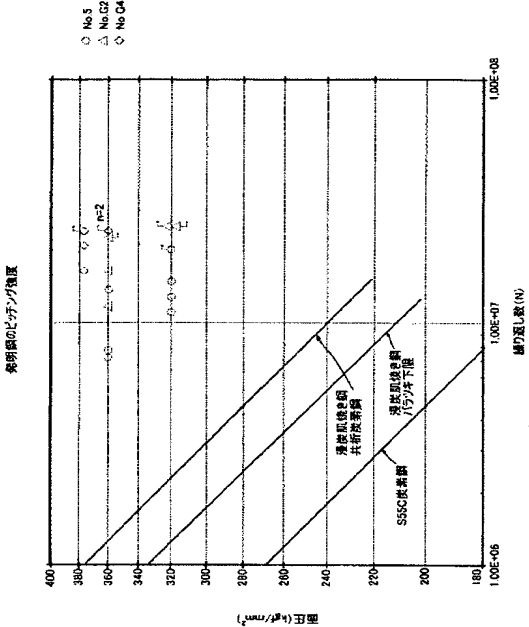
真空浸炭焼入れ処理のパターン



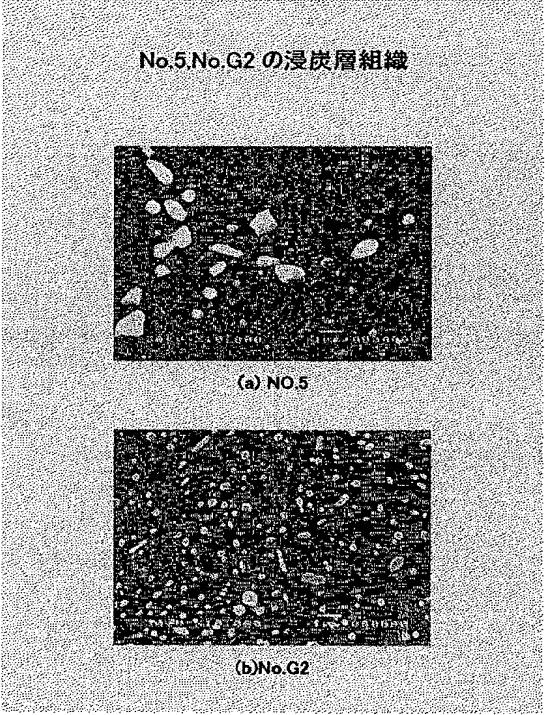
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【手続補正書】

【提出日】平成14年8月30日(2002.8.30)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 7 9

【補正方法】変更

【補正内容】

【0 0 7 9】

【表 4】

C	C	Si	Al	Mn	Ni	Cr	Mo	V	B
No.5	0.19	0.22		0.75		0.97	0.15		
No.G1	0.22	0.83		0.72		0.96	0.16		
No.G2	0.21	1.48		1.18		0.45	0.21	0.41	
No.G3	0.26	0.81	0.37	1.21	0.49	0.52	0.19		
No.G4	0.26	0.21	1.01	1.09		1.51	0.15	0.37	
No.G5	0.34	0.21	1.47	1.17		0.17	0.11		
No.G6	0.22	0.24	0.99	1.29	1.01	1.02	0.36		

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

C 2 1 D 6/00

W

F ターム (参考) 4K042 AA18 BA01 BA02 BA03 BA14 CA02 CA06 CA08 CA10 CA13
DA01 DA02 DA06 DC02